

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-31671

(43)公開日 平成11年(1999) 2月2日

(51)Int.Cl.⁶

H 0 1 L 21/304

識別記号

3 2 1

F I

H 0 1 L 21/304

3 2 1 E

3 2 1 M

B 2 4 B 1/00

37/04

B 2 4 B 1/00

37/04

A

B

審査請求 未請求 請求項の数37 O L (全 23 頁)

(21)出願番号 特願平9-153738

(22)出願日 平成9年(1997) 6月11日

(31)優先権主張番号 特願平9-124470

(32)優先日 平9(1997) 5月14日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 佐藤 修三

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

(72)発明者 大島居 英

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

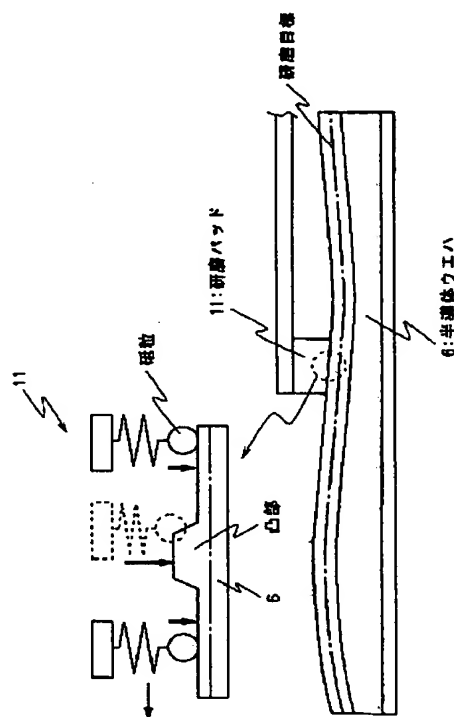
(74)代理人 弁理士 多田 繁範

(54)【発明の名称】 研磨装置、研磨材及び研磨方法

(57)【要約】

【課題】本発明は、研磨装置、研磨材及び研磨方法に関し、例えば半導体製造工程においてウェハ表面を平坦化する場合に適用して、配線パターン等によるウェハ表面の微小な凹凸を、従来に比して格段的に低減できるようにする。

【解決手段】研磨領域を加工面上で順次変位させて加工面を研磨する際に、研磨領域においては、研磨面の各部を加工面に対して所定の基準速度以上で変位させ、また加工面に対しては研磨領域を基準速度以下で変位させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】加工対象の加工面に研磨材の研磨面が接触してなる研磨領域を、前記加工面上で順次変位させて前記加工面を研磨する研磨装置において、前記研磨領域において、前記研磨面の各部を前記加工面に対して所定の基準速度以上で変位させる第1の駆動部と、前記加工面上において、前記研磨領域を前記基準速度以下で変位させる第2の駆動部とを備えることを特徴とする研磨装置。

【請求項2】前記基準速度は、前記研磨材及び前記加工対象間における機械的伝達関数の基本の共振周波数に対応する速度であり、前記第1の駆動部は、前記加工面の凸部又は凹部が前記研磨面に与える応力の周波数が、前記共振周波数以上になるように前記研磨面の変位速度を設定することにより、前記研磨面の各部を前記加工面に対して前記基準速度以上で変位させ、前記第2の駆動部は、前記加工面のうねりが前記研磨面に与える応力の周波数が、前記共振周波数以下になるように変位速度を設定することにより、前記研磨領域を前記基準速度以下で変位させることを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項3】前記第1の駆動部は、前記加工面上における研磨領域の位置に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の押圧力を可変することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項4】前記第1の駆動部は、前記加工面上における前記研磨領域の位置に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の変位の速度を可変することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項5】前記第2の駆動部は、前記加工面上における研磨領域の位置に応じて、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項6】前記第1の駆動部は、前記研磨材を駆動する際の負荷に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の押圧力を可変することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項7】前記第1の駆動部は、前記研磨材を駆動する際の負荷に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の変位の速度を可変することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項8】前記第2の駆動部は、前記研磨材を駆動する際の負荷に応じて、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項9】前記第1の駆動部は、膜厚検出手段による前記加工面の膜厚の検出結果に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の押圧力を可変する

ことを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項10】前記第1の駆動部は、膜厚検出手段による前記加工面の膜厚の検出結果に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の変位の速度を可変することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項11】前記第2の駆動部は、膜厚検出手段による前記加工面の膜厚の検出結果に応じて、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項12】前記第2の駆動部は、前記研磨対象を回転駆動して前記研磨領域を変位させ、前記研磨対象の回転速度を可変することにより、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項5に記載の研磨装置。

【請求項13】前記第2の駆動部は、前記研磨対象を回転駆動して、前記研磨領域を変位させ、前記研磨対象の回転速度を可変することにより、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項8に記載の研磨装置。

【請求項14】前記第2の駆動部は、前記研磨対象を回転駆動して、前記研磨領域を変位させ、前記研磨対象の回転速度を可変することにより、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項11に記載の研磨装置。

【請求項15】前記第2の駆動部は、前記研磨材に対して前記研磨対象を移動させることにより、前記研磨領域を変位させ、又は前記研磨対象に対して前記研磨材を移動させることにより、前記研磨領域を変位させ、前記加工対象又は前記研磨材の移動の速度を可変することにより、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項5に記載の研磨装置。

【請求項16】前記第2の駆動部は、前記研磨材に対して前記研磨対象を移動させることにより、前記研磨領域を変位させ、又は前記研磨対象に対して前記研磨材を移動させることにより、前記研磨領域を変位させ、前記加工対象又は前記研磨材の移動の速度を可変することにより、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項8に記載の研磨装置。

【請求項17】前記第2の駆動部は、前記研磨材に対して前記研磨対象を移動させることにより、前記研磨領域を変位させ、又は前記研磨対象に対して前記研磨材を移動させることにより、前記研磨領域を変位させ、前記加工対象又は前記研磨材の移動の速度を可変することにより、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項11に記載の研磨装置。

【請求項18】前記第1の駆動部は、前記研磨材の研磨面が前記加工面を押圧する押圧力検出手段と、前記押圧力を制御する制御手段とを有することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項19】前記第1の駆動部は、前記研磨材を回転駆動して、前記研磨材を部分的に前記加工面に接触させることにより、前記研磨領域を設定し、前記加工面に対する前記回転駆動の軸の傾きが調整可能に保持されたことを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項20】前記第1の駆動部は、前記研磨材を回転駆動して、前記研磨材を部分的に前記加工面に接触させることにより、前記研磨領域を設定し、前記回転軸に対する前記研磨領域の偏りを補正する補正手段を有することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項21】前記研磨領域に遊離砥粒を供給することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項22】前記研磨領域に、前記研磨部材に含まれる固定砥粒に対して、粒径が $1/6 \sim 1/3$ の遊離砥粒を供給することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項23】所定の回転軸により回転駆動された状態で、回転する加工対象の加工面に部分的に押圧されて、前記加工面を研磨する研磨材において、前記加工対象に対する機械的伝達関数の基本共振周波数が、前記加工対象の回転周波数の10倍以上の周波数になるように、硬度が設定されたことを特徴とする研磨材。

【請求項24】微細な空孔を有する樹脂に固定砥粒が分散混入されて形成されたことを特徴とする請求項23に記載の研磨材。

【請求項25】加工対象の加工面に研磨材の研磨面が接触してなる研磨領域を形成し、前記研磨領域において、前記研磨面の各部を前記加工面に対して所定の基準速度以上で変位させ、前記加工面上において、前記研磨領域を前記基準速度以下で変位させることを特徴とする研磨方法。

【請求項26】前記基準速度は、前記研磨材及び前記加工対象間における機械的伝達関数の基本の共振周波数に対応する速度であり、前記加工面の凸部又は凹部が前記研磨面に与える応力の周波数が、前記共振周波数以上になるように前記研磨面の変位速度を設定することにより、前記研磨面の各部を前記加工面に対して前記基準速度以上で変位させ、前記加工面のうねりが前記研磨面に与える応力の周波数が、前記共振周波数以下になるように変位速度を設定す

ることにより、前記研磨領域を前記基準速度以下で変位させることを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【請求項27】微細な空孔を有する樹脂に固定砥粒を分散混入して前記研磨材を形成し、前記研磨領域に遊離砥粒を供給することを特徴とする請求項26に記載の研磨方法。

【請求項28】前記固定砥粒の粒径に対して、前記遊離砥粒の粒径を $1/6 \sim 1/3$ に設定したことを特徴とする請求項27に記載の研磨方法。

【請求項29】前記加工面上における研磨領域の位置に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の押圧力を可変することを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【請求項30】前記加工面上における前記研磨領域の位置に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の変位の速度を可変することを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【請求項31】前記加工面上における研磨領域の位置に応じて、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【請求項32】前記研磨材を駆動する際の負荷に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の押圧力を可変することを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【請求項33】前記研磨材を駆動する際の負荷に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の変位の速度を可変することを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【請求項34】前記第2の駆動部は、前記研磨材を駆動する際の負荷に応じて、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【請求項35】膜厚検出手段による前記加工面の膜厚の検出結果に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の押圧力を可変することを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【請求項36】膜厚検出手段による前記加工面の膜厚の検出結果に応じて、前記加工面に対する前記研磨面の変位の速度を可変することを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【請求項37】膜厚検出手段による前記加工面の膜厚の検出結果に応じて、前記研磨領域の変位の速度を可変することを特徴とする請求項25に記載の研磨方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、研磨装置、研磨材及び研磨方法に関し、例えば半導体製造工程においてウェハ表面を平坦化する場合に適用することができる。本発明は、研磨領域を加工面上で順次変位させて加工面を研磨する際に、研磨領域においては、研磨面の各部を加工面に対して所定の基準速度以上で変位させ、また加工面に対しては研磨領域を基準速度以下で変位させることにより、配線パターン等によるウェハ表面の微小な凹凸

を、従来に比して格段的に低減できるようにする。

【0002】

【従来の技術】従来、半導体製造工程においては、必要に応じて半導体ウェハの表面を平坦化することにより、半導体ウェハ上に微細な構造を精度良く形成するようになされている。

【0003】すなわち図38に示すように、半導体製造工程では、種々の処理工程を経た半導体ウェハW上に配線パターン2等を形成した後、酸化膜による絶縁層3を堆積する。半導体製造工程では、この絶縁層3の表面を研磨装置により平坦化し、これにより続く配線パターン等の露光工程において所望のパターンを精度良く露光できるようにする。

【0004】図39は、この研磨装置の概略構成を示す斜視図である。この研磨装置5は、半導体ウェハWを所定のテーブルTに保持して回転駆動した状態で、例えばスラリーを供給しながら、回転する研磨パッドPを半導体ウェハWの表面に押圧する。研磨パッドPは、比較的柔軟な樹脂材料により形成され、これにより図40に示すように、半導体ウェハWにおける表面の微細な凹凸に応動して変形すると共に、この変形の程度に応じて半導体ウェハWの表面を押圧し、これにより半導体ウェハWの表面を平坦化するようになされている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで配線パターン等をさらに一段と微細に形成するためには、この配線パターン等の作成に供する露光の精度を向上することが必要になることから、半導体ウェハの表面をさらに一段と平坦に研磨することが求められる。また半導体ウェハのウェハ径を大きくする場合にも、同様に半導体ウェハの表面をさらに一段と平坦に研磨することが求められる。

【0006】このようなことから研磨の程度を検証したところ、従来の研磨装置における研磨手法によっては、0.25〔 μm 〕世代以降の半導体製造に求められる程度の、精度の高い平坦度を確保できないことが分かった。

【0007】本発明は以上の点を考慮してなされたもので、半導体ウェハ等の表面を高い精度により平坦化することができる研磨装置、研磨材及び研磨方法を提案しようとするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】かかる課題を解決するため本発明においては、加工対象の加工面に研磨材の研磨面が接触してなる研磨領域において、研磨面の各部を加工面に対して所定の基準速度以上で変位させ、加工面上において、研磨領域を基準速度以下で変位させる。

【0009】このとき基準速度が、研磨材及び加工対象間における機械的伝達関数の基本の共振周波数に対応する速度でなるようにし、加工面の凸部又は凹部が研磨面に与える応力の周波数が、この共振周波数以上になるよ

うに研磨面の変位速度を設定することにより、研磨面の各部を加工面に対して基準速度以上で変位させ、加工面のうねりが研磨面に与える応力の周波数が、この共振周波数以下になるように変位速度を設定することにより、研磨領域を基準速度以下で変位させる。

【0010】所定の回転軸により回転駆動された状態で、回転する加工対象の加工面に部分的に押圧されて、前記加工面を研磨する研磨材において、加工対象に対する機械的伝達関数の基本共振周波数が、加工対象の回転周波数の10倍以上の周波数になるように硬度を設定する。

【0011】またこのとき微細な空孔を有する樹脂に固定砥粒が分散混入して形成する。

【0012】研磨領域において、研磨面の各部を加工面に対して所定の基準速度以上で変位させれば、この基準速度の設定如何により、この研磨領域においては、微細な凸部については、効率良く研磨することができる。また加工面上において、研磨領域を基準速度以下で変位させれば、同様に、基準速度の設定如何により、加工面におけるうねりに対してはこのうねりに沿って全体を研磨することができる。これにより微細な凹凸を研磨して加工面を平坦化することができる。

【0013】より技術的な限定を付加するならば、基準速度が、研磨材及び加工対象間における機械的伝達関数の基本の共振周波数に対応する速度でなるようにし、加工面の凸部又は凹部が研磨面に与える応力の周波数が、この共振周波数以上になるように研磨面の変位速度を設定することにより、研磨面の各部を加工面に対して所定の基準速度以上で変位させれば、この凸部又は凹部による応力に対して、ほぼ180度の位相差をもって研磨面の各部が変位することになる。すなわちこの応力により変位方向とは逆方向に変位するように凸部等を押圧して研磨することになり、凸部が低減するように、積極的に研磨することができる。また加工面のうねりが研磨面に与える応力の周波数が、この共振周波数以下になるように変位速度を設定することにより、研磨領域を基準速度以下で変位させれば、このうねりに対応した研磨部材の弾性変形による押圧力だけで研磨することになり、ほぼうねりに沿った加工面を形成することができる。

【0014】同様の原理により、所定の回転軸により回転駆動された状態で、回転する加工対象の加工面に部分的に押圧されて、この加工面を研磨する研磨材において、加工対象に対する機械的伝達関数の基本共振周波数が、加工対象の回転周波数の10倍以上の周波数になるように硬度を設定すれば、研磨領域の変位速度等の設定により実用に供する速度で研磨加工しても、十分な余裕をもって、微細な凹凸を平坦化するように加工対象を研磨することができる。

【0015】またこのとき微細な空孔を有する樹脂に固定砥粒を分散混入して研磨材を形成すれば、遊離砥粒と

併せて使用して、研磨速度の低下を有効に回避することができ、効率良く研磨することができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、適宜図面を参照しながら本発明の実施の形態を詳述する。

【0017】(1)実施の形態の研磨原理

図2は、本発明の実施の形態に係る研磨装置の基本的な構成を示す略線図である。この実施の形態において、研磨装置10は、半導体ウェハ6を比較的低速度により回転させた状態で、高速度で回転する研磨パッド11を半導体ウェハ6に押圧する。ここで研磨パッド11は、回転軸より所定距離だけ半径方向に離間した領域で半導体ウェハ6と接触するように（以下半導体ウェハ6上において、この研磨パッド11が接触する領域を研磨領域と呼ぶ）、リング状に形成される。

【0018】これにより研磨装置10では、研磨領域において、半導体ウェハ6の表面に対して所定の速度以上で研磨パッド11の研磨面を変位させる。また半導体ウェハ6を比較的低速度により回転させることにより、半導体ウェハ6上においてこの研磨領域を所定速度以下で変位させる。

【0019】さらに研磨パッド11は、結合材でなる樹脂に砥粒を分散させて形成され、研磨パッド11の回転速度及び研磨領域の変位速度に対応する所定の弾性を有するように形成される。これにより研磨装置10では、半導体ウェハの表面を従来に比して格段的に平坦化できるようになされている。

【0020】すなわち図1に示すように、半導体ウェハ6に対して研磨パッド11を変位させ、このとき半導体ウェハ6の表面に微小な凸部が現れると、この凸部は、研磨パッド11の砥粒を変位させる押圧力を発生する。この押圧力に対して砥粒が速やかに変位すれば、研磨パッド11は、この変位により変化する樹脂の弾性力によってのみ、凸部を研磨することになる。

【0021】このような砥粒の変位は、結合材による弾性変形によるものであり、このような弾性変形は、外力の印加に対して所定の時間遅れを伴う。この時間遅れを位相関数で表して、凸部により発生する外力に対して180度程度の位相遅れを生じるように条件を設定すれば、砥粒においては、凸部による押圧力に対してこの押圧力の向きと逆方向に変位するように凸部を押圧して研磨することになる。すなわち半導体ウェハ6の表面に対して所定の線速度以上で研磨パッド11の研磨面を変位させることにより、従来に比して格段的に効率良く凸部の高さを低減することができる。

【0022】これに対して半導体ウェハ6においては、表面が大きいうねっていることにより、このうねりによる砥粒の変位に対しては、時間遅れによる位相変化が小さくなるように条件を設定すれば、この表面のうねりに沿って砥粒を変位させることになり、この表面のうねり

に沿って全体を研磨することができる。すなわち半導体ウェハ6を比較的低速度により回転させて、半導体ウェハ6上においてこの研磨領域を所定速度以下で変位させることにより、半導体ウェハ6の表面のうねりに沿って全体を研磨することができる。

【0023】このような時間遅れは、研磨パッド11とウェハ6間の機械的伝達関数により判断できる。これによりこの実施の形態においては、研磨パッド11側に加振源を、ウェハ6側にピックアップを配置し、加振源より発した振動の伝搬をピックアップにより検出することにより、図3に示すような機械的伝達関数による振幅特性を検出した（図3(A)）。このような振幅特性は、共振周波数以上の周波数において、位相特性が約180度変化することになる。これによりこの振幅特性を解析し、半導体ウェハ6の表面のうねりによる周波数が基本共振周波数 f_0 以下になるように、また半導体ウェハ6の表面の微小な凸部による周波数がこの基本共振周波数 f_0 以上になるように条件を設定した。

【0024】すなわち半導体ウェハ6においては、このようなうねりによる大きな凸部が1〜2箇所形成されることから、半導体ウェハ6の回転速度を N 〔Hz〕とすると、このうねりによる周波数は最大で $2N$ 程度になる。これによりこの実施の形態では、基本共振周波数 f_0 が200〔Hz〕程度になるように研磨パッド11の弾性を設定し、研磨パッド11を高速度で回転駆動しても、半導体ウェハ6のうねりによる周波数が基本共振周波数 f_0 以下になるように設定する。また研磨パッド11の回転速度により、半導体ウェハ6上の微小な凸部による周波数を基本共振周波数 f_0 以上に設定する。さらに研磨パッド11については、凸部による周波数が十分に高い周波数になるように設定して、研磨速度を向上する。

【0025】なおこの基本共振周波数 f_0 は、研磨パッド11の磨耗、押圧力、接触の程度等によって変化する。また半導体ウェハ6の研磨速度は、後述するように半導体ウェハ6の回転周波数によって大きく変化する。従ってこの実施の形態では、半導体ウェハ6の回転速度を30〔r/min〕（0.5〔Hz〕）に設定し、半導体ウェハ6のうねりによる周波数0.5〜1〔Hz〕に対して基本共振周波数 f_0 を200倍以上に設定する。これにより研磨の条件が種々に変化しても、基本共振周波数 f_0 に対する半導体ウェハ6のうねりによる周波数の関係を十分な余裕をもって維持したまま、半導体ウェハ6を研磨できるようにする。実験した結果によれば、半導体ウェハ6の回転周波数に対して基本共振周波数 f_0 を10倍程度以上に設定すれば、研磨条件が種々に変化しても、半導体ウェハ6のうねりに沿って表面を研磨し、また表面の微細な凹凸を平坦化することができ、これにより実用に供する程度に研磨できることが分かった。

【0026】(2)第1の実施の形態の構成

(2-1)基本構成

図4は、第1の実施の形態に係る研磨装置を示す斜視図である。この研磨装置10は、半導体製造工程において、ウェハカセット12により半導体ウェハ6の供給を受け、この半導体ウェハ6の表面を研磨した後、同様のウェハカセット12に収納して次工程に供給する。

【0027】この研磨装置10は、図面にて奥側より手前側中央に突出するように加工部13が形成され、この加工部13の突出部を間に挟んで、それぞれ左右にロードバッファ14及びアンロードバッファ15が形成される。さらにこれらロードバッファ14及びアンロードバッファ15の上部に、ウェハ搬送機構16が形成され、アンロードバッファ15の排出側にウェハ洗浄ブラシ17が配置される。

【0028】ここでロードバッファ14は、加工部13に供給する半導体ウェハ6を一時待機させるバッファエリアであり、図示しない搬送機構により、ウェハカセット12から未研磨の半導体ウェハ6を順次取り出して保持する。アンロードバッファ15は、加工部13により研磨加工の完了した半導体ウェハ6を一時待機させるバッファエリアであり、図示しない搬送機構により、半導体ウェハ6をウェハカセット12に収納する。ウェハ洗浄ブラシ17は、アンロードバッファ15からウェハカセット12に搬送される半導体ウェハ6を洗浄する。

【0029】ウェハ搬送機構16は、ローダーチャック19及びアンローダーチャック20を保持し、このローダーチャック19及びアンローダーチャック20を連動して動作させて半導体ウェハ6を搬送する。すなわちウェハ搬送機構16は、それぞれローダーチャック19及びアンローダーチャック20によりロードバッファ14、加工部13の半導体ウェハ6を吸着して上方へ退避した後、各半導体ウェハ6をそれぞれ加工部13、アンロードバッファ15の上部へ可動し、下方に移動して半導体ウェハ6の吸着を解除する。これにより研磨装置10では、未研磨の半導体ウェハ6をロードバッファ14に供給し、この半導体ウェハ6を加工部13により研磨加工した後、アンロードバッファ15よりウェハカセット12に排出するようになされている。

【0030】加工部13は、開口13Aを介してローダーチャック19により半導体ウェハ6の供給を受け、この半導体ウェハ6の表面を研磨する。ここで加工部13は、奥側左右にコラム22L及び22Rが配置され、このコラム22L及び22Rの前面側に、Z軸ガイド23L及び23Rが形成される。さらに加工部13は、このZ軸ガイド23L及び23Rによりガイドされて、Z軸スライダ24が上下方向に可動し得るように配置され、このZ軸スライダ24に研磨パッドが配置され、またこの研磨パッドに対して開口13Aより供給された半導体ウェハ6がX軸テーブルにより搬送される。

【0031】すなわち図5は、加工部13を示す平面図及び側面図である。この加工部13において、X軸テーブル26は、開口13Aの下部において、半導体ウェハ6が載置されるのを待機し、半導体ウェハ6が載置されると、矢印Aにより示すように、この半導体ウェハ6を吸着保持して所定の研磨位置まで搬送する。さらにこの研磨位置にて半導体ウェハ6を所定の回転速度で回転駆動した状態で、矢印Bにより示すように、X軸方向に半導体ウェハ6を往復させ、研磨が完了すると、半導体ウェハ6の回転を停止して開口13Aの下部まで搬送する。

【0032】このためX軸テーブル26は、図示しないレールに沿ってX軸方向に移動し得るように構成され、比較的低速回転なモータ、プーリ又はベルト等により回転駆動されるようになされている。またX軸テーブル26は、半導体ウェハ6を回転駆動して上方より研磨するのに十分な、半導体ウェハ6の直径に対応した例えば直径約200〔mm〕の円盤状に、多孔質部材により構成され、所定の真空引き用通路を介して真空引きすることで、半導体ウェハ6を吸着する。

【0033】加工部13は、コラム22L、22Rを跨ぐように所定の基準保持部材28が配置される。この基準保持部材28には、Z軸サーボモータ29が配置され、加工部13は、このZ軸サーボモータ29の駆動により、研磨位置に配置された半導体ウェハ6に対して研磨パッド11を上下させる。

【0034】すなわちZ軸サーボモータ29は、回転軸がZ軸方向になるように配置され、カップリング31を介して、その回転軸にボールネジ32が接続される。このボールネジ32は、サブスライダ33にねじ込まれ、サブスライダ33は、両側面に形成されたサブスライダガイド33L、33Rによりガイドされて、Z軸方向に可動自在に保持される。これによりサブスライダ33は、Z軸サーボモータ29により駆動されて、矢印Cにより示すように、Z軸方向に上下するようになされている。

【0035】サブスライダ33は、先端側に、1対のロードセル35L、35Rが配置され、このロードセル35L、35Rを介してZ軸スライダ24が接続される。このZ軸スライダ24は、コラム22L、22Rの前面側に形成されたZ軸ガイド23L及び23Rによりガイドされて、Z軸方向に可動自在に形成される。これによりZ軸スライダ24は、Z軸サーボモータ29により駆動されて、サブスライダ33と共にZ軸方向に上下するようになされ、またロードセル35L、35Rを介して加重が検出されるようになされている。

【0036】さらに図6に示すように、Z軸スライダ24の上面左右には、それぞれワイヤ37L、37Rが接続され、このワイヤ37L、37Rの他端に、プーリ38を介してカウンタウエイト39が吊り下げられるよう

になされている。これによりZ軸スライダ24は、小型のZ軸サーボモータ29により上下に駆動できるように形成され、またロードセル35L、35Rに加わる加重を、このロードセル35L、35Rにより検出可能な範囲に軽減する。

【0037】さらにZ軸スライダ24は、主軸スピンドル40を保持し、この主軸スピンドル40は、回転軸に研磨パッド11が配置される。このZ軸スライダ24は、主軸スピンドル40、研磨パッド11等が取り付けられ、さらにカウンタウエイト39によりロードセル35L、35Rに加わる加重が軽減された実際の加工の状態において、主軸スピンドル40の回転中心軸O上に、重心が位置するように形成され、またこの回転中心軸Oと、ロードセル35L、35Rに対する作用点Pとが、同一平面上に位置するように形成される。さらにこの平面が研磨位置における半導体ウェハ6の表面に略直交するように形成される。これによりZ軸スライダ24は、研磨パッド11を半導体ウェハ6に押圧した際に、研磨パッド11による押圧力をロードセル35L、35Rで正しく検出できるようになされている。

【0038】これにより加工部13は、X軸テーブル26により半導体ウェハ6が所定の研磨位置に配置されると、主軸スピンドル40により研磨パッド11を回転駆動した状態で、Z軸サーボモータ29により主軸スピンドル40を降下させて研磨パッド11を半導体ウェハ6に押圧し、半導体ウェハ6の表面を研磨するようになされている。またこのときロードセル35L、35Rにより押圧力を監視し、さらにはX軸テーブル26により半導体ウェハ6をX軸方向に往復運動させるようになされている。

【0039】図7は、研磨パッド11の取り付け部を示す断面図であり、図8は、研磨パッド側より見た底面図である。なおこの図7においては、後述する傾斜角度調整機構については記載を省略する。主軸スピンドル40は、回転軸でなる主軸42と、この主軸42の周囲を囲む主軸ハウジング43を有し、主軸42の下部に定盤41が取付固定される。

【0040】主軸スピンドル40は、主軸42より定盤41まで延長するようにノズル穴44が形成され、このノズル穴44にノズル管45が配置される。主軸スピンドル40は、このノズル管45により研磨液としてのスラリーが研磨パッド11に供給される。

【0041】定盤41は、接着等により半導体ウェハ6側の下面に研磨パッド11を保持する。さらに定盤41は、下側端面に、放射状に溝46Aが形成される。さらに定盤41は、溝46Aとノズル穴44との接続部にスラリー分配用の端板47が配置される。これにより定盤41は、回転による遠心力によりスラリーを研磨パッド11に供給する際に、端板47及び放射状の溝46Aにより供給量の偏りを有効に回避する。なおスラリーは、

所定のノズルにより研磨パッド11の外周側にも別途供給される。

【0042】研磨パッド11は、外径Dが半導体ウェハ6の外形と等しい200〔mm〕により、また半径方向の幅dが20〔mm〕により形成される。これにより研磨パッド11は、半導体ウェハ6上に上述の研磨領域を形成し、この研磨領域内において、半導体ウェハ6の表面に対して研磨面の全てが上述の所定速度以上で変位するようになされている。

【0043】さらに研磨パッド11は、ウレタン樹脂及びメラミン樹脂をベースに、 CeO_2 による砥粒が分散混入して形成され、このベースに所定の割合いで微細な空孔が形成されるようになされている。研磨パッド11は、このようにして形成される際に上述した弾性率が得られるように、樹脂の配合比等が選定されるようになされている。因みに、このように設定されることにより、研磨パッド11の表面硬度は、発砲ポリウレタン系研磨パッドの表面硬度に比して十分に高い値に保持される。

【0044】さらに研磨パッド11は、気孔率が37.4〔%〕に設定され、砥粒の粒径が約3.5〔 μm 〕に設定される。

【0045】これに対してスラリーは、フィラーとして CeO_2 による砥粒が24.5〔Wt%〕分散混入された水溶液が使用される。ここでフィラーは、研磨パッド11の砥粒粒径に対して、粒径が1/6～1/3の範囲で適宜実用に供することができ、この実施の形態では粒径が0.5〔 μm 〕に選定されるようになされている。

【0046】これにより研磨パッド11は、図1との対比により図9に示すように、研磨パッド11に保持した固定砥粒に加えて、スラリーにより供給される遊離砥粒により半導体ウェハ6を研磨し、研磨能力が向上される。また研磨パッド11は、スラリーにより潤滑されて研磨パッド11の砥粒により、また遊離砥粒により半導体ウェハ6の表面を研磨しながら、研磨により脱落した固定砥粒、さらには半導体ウェハ6の研磨かすを空孔に逃がし、これにより研磨能力の低下を有効に回避する。また遊離砥粒により、このように空孔に逃がした研磨かす等による空孔の目詰まりを防止し、これによっても研磨能力の低下を有効に回避する。

【0047】図10は、テスト用の半導体ウェハを実際に研磨した結果を示す特性曲線図である。この研磨においては、符号L1により示すように、スラリーを供給して研磨パッド11により研磨した研磨速度、符号L2により示すように、研磨パッド11だけで研磨した研磨速度、符号L3により示すように、 CeO_2 による砥粒に代えて SiO_2 による砥粒による研磨パッドだけで研磨した研磨速度を測定した。この測定結果によれば、十分な研磨速度により半導体ウェハを研磨できることがわかる。

【0048】また図11は、半導体ウェハを繰り返し研磨した場合における研磨速度の変化を示す特性曲線図である。この測定では、各半導体ウェハを約120〔 μm 〕づつ研磨した。この測定結果によれば、スラリーを併用して研磨速度の変化を十分に小さな値に保持できることが分かり、半導体製造工程に適用して量産に適用できることがわかる。

【0049】図12は、この研磨装置10による平坦化の判定に使用したテスト用半導体ウェハの断面を示す断面図である。このテスト用半導体ウェハは、100〔 μm 〕幅のパターンを0.4〔 μm 〕間隔で形成し、また0.4〔 μm 〕幅のパターンを2〔mm〕間隔で形成し、このパターン上から酸化シリコンの絶縁膜を形成した。測定では、半導体ウェハの表面で、最も突出してなる箇所（符号Aにより示す膜厚の低減量である）を基準にして、この最も突出した箇所と最も膜厚の薄い箇所との段差（A-B）を測定した。

【0050】研磨開始前においては、この段差は120〔 μm 〕あり、これにより半導体ウェハの凸部のみを理想的に研磨できた場合、符号Aにより示す膜厚が120〔 μm 〕低減すると、この段差は値0になる。図13は、この測定結果を示す特性曲線図であり、この研磨装置10では、120〔 μm 〕研磨して、段差の残量が200〔nm〕以下になることを確認することができた。ちなみに、従来の研磨装置によってこのテスト用半導体ウェハを研磨したところ、500～700〔nm〕の範囲で段差が低下しなくなり、これにより従来に比して半導体ウェハの表面を1/3以上平坦化できることが分かった。なおこれらの測定においては、レーザー光を用いた光学的手法により膜厚を測定して研磨量等を測定した。

【0051】図14は、研磨パッド11と半導体ウェハ6の関係を示す断面図及び平面図である。研磨パッド11は、半導体ウェハ6側面が平面とすると、上述した関係により半導体ウェハ6の表面に、略円弧形状に研磨領域を形成し、この研磨領域において半導体ウェハ6の表面を研磨する。

【0052】このとき図15に示すように、この実施の形態では、X軸テーブルが往復運動することにより、また半導体ウェハ6の回転により、研磨領域がゆっくりとした速度で変化する。この実施の形態において、X軸テーブル26の移動速度は、60～140〔mm/min〕の範囲に設定され、200〔mm〕の範囲が往復運動の範囲に設定される。なお以下において、図15

（A）に示すように、研磨パッド11の最外周が半導体ウェハ6に表面に接触を開始したX軸方向の位置をX=0〔mm〕の位置とし、図15（C）に示すように、研磨パッド11の最外周が半導体ウェハ6の回転中心まで移動した位置をX=200〔mm〕の位置とする。

【0053】さらにこの実施の形態において、研磨パッ

ド11は、300〔r/min〕の回転速度Npにより回転駆動され、また半導体ウェハ6は、30〔r/min〕の回転速度Nwにより回転駆動される。

【0054】（2-2）主軸の傾斜角度調整機構

図16は、主軸スピンドル40の保持機構を示す正面図である。主軸スピンドル40は、主軸取付座49を介してZ軸スライダ24に保持され、これによりZ軸サーボモータ29よりZ軸スライダ24と共にZ軸方向に可動する。さらに主軸スピンドル40は、主軸の傾斜角度調整機構により回転中心軸の傾きが微小角度範囲で調整できるようになされ、これにより研磨装置10では、必要に応じてこの傾きを調整して最適な研磨条件に設定できるようになされている。

【0055】すなわち主軸スピンドル40は、主軸フランジ48、テーパリング50及び51を介して主軸取付座49に固定される。ここでテーパリング50及び51は、リング状に形成され、主軸取付座49に積層されて配置され、その上部に主軸フランジ48が配置される。さらにテーパリング50及び51は、主軸スピンドル40の回転軸に対してほぼ同軸状に配置され、この回転軸をほぼ回転中心軸にして回転し得るように、主軸フランジ48により主軸取付座49に押圧されて保持される。かくするにつき主軸スピンドル40は、主軸フランジ48を介して主軸取付座49に固定され、この主軸フランジ48間に回転自在にテーパリング50及び51が配置されることになる。

【0056】さらにテーパリング50及び51は、横方向より見たとき、接触面が中心軸に対して斜めに傾いたテーパ面50a及び51aを形成するように作成される。これにより図17に示すように、主軸スピンドル40は、テーパリング50及び51を回転させて、主軸の回転中心軸Oを種々の方向に傾けることができるようになされている。

【0057】ここでテーパリング50及び51は、このテーパ面50a及び51aにより横方向から見た厚さが最大で5〔 μm 〕変化するように形成され、これによりこの実施の形態では、この回転中心軸Oを微小角度範囲で調整できるようになされている。またX軸に沿った方向についてだけ主軸の回転中心軸Oを傾けることができるように形成され、これにより回転中心軸Oを傾けても、この回転中心軸Oと、ロードセル35L、35Rに対する作用点Pとを同一平面上に保持し、ロードセル35L、35Rによる検出精度の低下を有効に回避するようになされている。

【0058】なおテーパリング50及び51が、互いのテーパ面50a及び51aで接触していることから、研磨装置10においては、テーパリング50及び51を介在させても主軸スピンドル40及び主軸取付座49間の機械剛性の低下を有効に回避することができる。これにより研磨装置10では、主軸スピンドル40

及び主軸取付座49間の機械系の固有周波数の低下を有効に回避し、主軸42を高速回転できるようになされている。

【0059】図18、図19及び図20は、このような回転中心軸Oの傾きによる研磨パッド11と半導体ウェハ6との関係を示す図である。すなわち研磨パッド11においては、回転中心軸Oの傾きに応じて押圧力Fにより弾性変形による形状が変化し、半導体ウェハ6上に形成する研磨領域の大きさが種々に変化する。すなわち傾きが大きい場合は、研磨領域が小面積化し、傾きが小さくなると研磨領域が増大する。これによりこの実施の形態では、適宜傾きを選定して研磨領域の大きさを調整し、最適な条件により研磨できるようになされている。

【0060】すなわち上述した研磨パッド11及び半導体ウェハ6間の機械的伝達関数は、単に研磨パッド11の弾性だけでなく、半導体ウェハ6のウェハ径等によっても変化し、研磨領域の面積によっても種々に変化する。従って傾き θ の調整により、半導体ウェハ6の微小な凸部を選択的に研磨する為に必要な条件を細かく調整することができる。

【0061】さらにこの研磨領域の大きさは1枚の半導体ウェハ6の研磨に要する研磨時間にも大きく影響を与え、これにより単位時間当たりの研磨量も細かく調整することができる。またこの調整によりスラリーの分布を均一化することもでき、これにより研磨速度の変動を低減することができる。

【0062】なおこのようにして微小角度 θ だけ回転中心軸を傾ける場合、研磨パッド11においては、この傾きに応じたフェーシングが必要となる。

【0063】(2-3) 研磨圧力の偏り補正機構
ところでこの実施の形態においては、図5について説明したように、回転中心軸Oと、ロードセル35L、35Rに対する作用点Pとを同一平面上に保持していることにより、単に研磨パッド11に対してX軸テーブル26を往復運動させたのでは、研磨領域における押圧力の分布がX軸テーブル26の位置に応じて変化することになる。

【0064】すなわち図21に示すように、回転中心軸Oを傾けないとして、研磨パッド11と半導体ウェハ6とが完全に重なり合っている場合(図21(A)及び(B))、研磨領域においては、均一な圧力分布により研磨パッド11が半導体ウェハ6を押圧することになる。ところが図22及び図23に示すように、X軸テーブル26が研磨装置10の手前側に変位すれば、その分研磨領域が回転中心軸Oより手前側に変位することにより、圧力分布が不均一化する。

【0065】この場合、回転中心軸Oに近い半導体ウェハ6の外周側程高い押圧力により研磨パッド11が押圧されることにより、他の部分に比してこれらの部分で研磨速度が増大することになる。このような回転中心軸O

側に偏るような押圧力の不均一な分布に対して、半導体ウェハ6は、回転中心軸Oより手前側に偏って往復運動することになる。これによりこれを放置したのでは、この押圧力の不均一により半導体ウェハ6の各部で研磨量が不均一となる。

【0066】この場合図24に示すように、半導体ウェハ6の往復運動方向でなるX軸の手前側、例えば主軸スピンドル40の上部に、重りであるデッドウエイト54を配置すれば、回転中心軸Oより手前側に偏った半導体ウェハ6の往復運動に対応するように、このような回転中心軸O側に偏った押圧力の分布を回転中心軸Oより手前側に偏らせることができる(図24(A)及び(D))。

【0067】また図24(B)に示すように、同様にして例えば主軸スピンドル40の上部より手前側に、アームによりデッドウエイト54を保持すれば、回転中心軸Oより手前側に偏った半導体ウェハ6の往復運動に対応するように、このような回転中心軸O側に偏った押圧力の分布を回転中心軸Oより手前側に偏らせることができる(図24(B)及び(D))。またZ軸スライダ24による主軸スピンドル40の保持位置を回転中心軸Oより手前側に偏らせるようにしても、同様に押圧力の分布を回転中心軸Oより手前側に偏らせることができる(図24(C)及び(D))。

かくするにつき、この実施の形態において、研磨装置10は、上述した主軸の傾きと共に、このデッドウエイト54の配置位置を適宜調整できるようになされ、これにより必要に応じて押圧力の偏りを適宜調整して、適切な条件により研磨できるようになされている。

【0068】(2-4) X軸テーブルの速度制御
図25(A)に示すように、研磨装置10において、半導体ウェハ6と研磨パッド11が完全に重なり合った場合、半導体ウェハ6の周辺部分だけ研磨されることになる。またこのとき半導体ウェハ6の外周側程、半導体ウェハ6に対して研磨パッド11の線速度が高いことにより、外周側程研磨速度が増大する。

【0069】これに対して図25(B)に示すように、図25(A)の状態よりX軸テーブルが100〔mm〕変位した状態では、半導体ウェハ6の中心から半径±20〔mm〕の範囲では研磨量が多く、その他の部分の研磨量は少なくなる。これにより単にX軸テーブルを等速度により往復移動させ、また一定の押圧力により研磨パッド11を押圧し、さらに半導体ウェハ6、研磨パッド11を一定の速度で回転駆動したのでは、半導体ウェハ6の全面を均一に研磨することが困難になる。

【0070】ここで研磨パッド11の回転数を N_p 、半導体ウェハ6の回転数を N_w とおき、この回転速度 N_p 及び N_w に対応する研磨パッド11及び半導体ウェハ6における所定位置の線速度を V_p 及び V_w とおくと、図26に示すように、研磨領域の所定位置Pにおいては、

線速度 V_p 及び V_w のベクトル合成により研磨パッド11及び半導体ウェハ6間の相対速度 V_x を表すことができる。

【0071】この相対速度 V_x を用いて、X軸テーブルを所定位置に保持した場合における時間 t の研磨量 $H(x)$ は、次式により表すことができる。なおここで K_p は、比例定数、 P_x は、研磨圧力である。

【0072】

【数1】

$$H(x) = K_p \cdot P_x \cdot V_x \cdot t \quad \cdots (1)$$

【0073】また研磨圧力 P_x は次式で表される。なお F は、研磨パッド11による全体の押圧力を示し、 A は、研磨パッド11及び半導体ウェハ6とが接触してなる研磨領域の面積である。

【0074】

【数2】

$$P_x = F/A \quad \cdots (2)$$

【0075】これにより回転速度 N_p 、 N_w の制御により相対速度 V_x を変化させて、また研磨パッド11の押圧力 F 、X軸テーブルの移動速度の制御により時間 t を変化させて、半導体ウェハ6の各部における研磨量を制御できることがわかる。

【0076】図27は、この関係式より、X軸テーブルを等速度により往復移動させ、研磨圧力 P_x 、研磨パッド11の回転数 N_p 、半導体ウェハ6の回転数 N_w を一定値に保持して研磨した場合の研磨量 $H(x)$ の計算結果を示す特性曲線図である。図27(A)は、半導体ウェハ6の移動範囲(トラバース範囲)をX軸座標位置1〔mm〕から108〔mm〕とした場合であり、図27(B)は、このトラバース範囲を68〔mm〕から191〔mm〕とした場合である。何れの場合でも、半導体ウェハ6の半径に対して研磨量がばらついていることがわかる。

【0077】これに対して(1)式及び(2)式の関係式より、X軸テーブルの可動範囲を10〔mm〕単位で区切り、半導体ウェハ6の半径に対して研磨量のばらつきが所定値以下になるように計算した結果を表1に示す。なおここでは、半導体ウェハ6及び研磨パッド11の回転速度は、図27と同一条件に設定した。

【0078】

【表1】

研磨パッド : 2000 [r/min] 半導体ウェハ : 20 [r/min]	
X座標位置 [mm]	研磨時間レート (基準値に対する送り速度の逆数の倍率)
0-10	2.3
10-20	2.4
20-30	3.74
30-40	2.
40-60	1.39
60-80	1.77
80-100	1.8
100-120	1.27
120-140	0.79
140-160	0.8
160-180	0.77
180-200	0

【0079】図28は、この表1の条件による研磨量分布の計算結果を示す特性曲線図であり、図27に示した研磨量の分布に比べて研磨量の均一性が飛躍的に向上するのがわかる。

【0080】この実施の形態において、実際の研磨においては、上述したように半導体ウェハ6の回転速度を30〔r/min〕、研磨パッド11の回転速度を300〔r/min〕に設定し、研磨領域を調整し、X軸テーブルの送り速度を選定した。図29(A)は、等速度によりX軸テーブルを移動させた場合の研磨量のばらつきを示す特性曲線図であり、図29(B)は、半径約50〔mm〕より外周側だけを研磨する場合に(X軸位置が150〔mm〕以上の場合である)、X軸テーブルの送り速度を20〔%〕低減した場合である。この測定結果によれば、等速度によりX軸テーブルを移動させた場合、標準偏差 σ によりばらつきを表して11.7〔%〕のばらつきがあったものを、4.3〔%〕に低減することができた。なおこの測定は、連続して研磨した100枚の半導体ウェハのうちの、51枚目($n=51$)と61枚目($n=61$)の測定結果である。

【0081】図30は、8インチの半導体ウェハ上を用いて研磨量のばらつきを測定した結果である。この場合、連続して研磨した100枚のうちの、1枚目($n=1$)と50枚目($n=50$)の測定結果であり、半導体ウェハ上にらせん状に設定した49点の研磨量である。この図30によっても半導体ウェハを平坦化できることが分かる。また図31は、このようにして設定した49点の測定点を用いた標準偏差 σ によるばらつきを、連続する100枚の半導体ウェハについて測定した結果である。なお縦軸は、標準偏差の平均値により正規化して示す。この図31による特性によれば、100枚程度の研磨でも平坦に研磨できることが分かる。

【0082】(2-5) 研磨装置の制御

図32は、研磨装置10の制御系を示すブロック図である。この研磨装置10の制御系は、コンピュータ構成の

主制御装置 6 0 と、この主制御装置 6 0 により出力される制御信号により各種モータを駆動するドライバとにより構成される。

【0083】主軸ドライバ 6 1 は、主制御装置 6 0 より出力される制御信号により主軸スピンドル 4 0 を回転駆動する。このとき主軸ドライバ 6 1 は、フィードバックループを形成して主軸スピンドル 4 0 の負荷変動に応動して負荷電流を変化させることにより、制御信号に応じた一定速度により主軸スピンドル 4 0 を回転駆動する。さらに主軸ドライバ 6 1 は、この負荷電流を電流電圧変換処理して主軸スピンドル 4 0 の負荷検出信号を生成し、この負荷検出信号 S 1 を主制御装置 6 0 に出力する。これにより主軸ドライバ 6 1 は、主制御装置 6 0 において負荷変動を検出できるようになされている。

【0084】Z 軸ドライバ 6 2 は、主制御装置 6 0 より出力される制御信号により Z 軸サーボモータ 2 9 を回転駆動し、これにより研磨パッド 1 1 を上下に可動し、また半導体ウェハ 6 に押圧する。

【0085】テーブル軸ドライバ 6 3 は、主制御装置 6 0 より出力される制御信号により、X 軸テーブル 2 6 に配置されたテーブル軸サーボモータ 6 9 (図 3 3) を回転駆動し、これにより半導体ウェハ 6 を所定の回転速度により回転駆動する。

【0086】X 軸ドライバ 6 4 は、主制御装置 6 0 より出力される制御信号により X 軸サーボモータ 6 5 を回転駆動し、X 軸テーブル 2 6 を移動させる。ここで X 軸サーボモータ 6 5 は、回転軸にボールネジ 6 6 が取り付けられ、このボールネジ 6 6 が X 軸テーブル 2 6 に取り付けられた部材にねじ込まれるようになされている。これにより X 軸ドライバ 6 4 は、ボールネジ 6 6 を回転させて X 軸テーブル 2 6 を移動させる。

【0087】操作パネル 6 8 は、オペレータにより研磨装置 3 0 の操作を受け付ける。

【0088】図 3 3 は、主制御装置を中心にしたこの研磨装置 3 0 の制御系を示すブロック図である。主制御装置 6 0 は、ランダムアクセスメモリ (RAM) 8 0 にワークエリアを確保して外部記憶装置 8 1、リードオンリメモリ 8 4 に記録された処理手順を中央処理ユニット 8 2 により実行することにより、この研磨装置 3 0 全体の動作を制御する。

【0089】すなわち中央処理ユニット 8 2 は、ウェハカセット 1 2 が配置されて操作パネル 6 8 が操作されると、所定のインターフェース (I/F) 8 3 を介してオペレータの操作を検出し、ウェハ搬送機構 1 6 を駆動する。さらにこのウェハ搬送機構 1 6 の駆動により半導体ウェハ 6 が X 軸テーブル 2 6 にセットされると、デジタルアナログ変換回路 (D/A) 8 5 ~ 8 6 を介して各ドライバ 6 1 ~ 6 4 に制御信号を出力し、加工部 1 3 を駆動する。

【0090】この加工部 1 3 の駆動において、中央処理

ユニット 8 2 は、X 軸テーブル 2 6 を駆動して半導体ウェハ 6 を研磨位置に移動した後、半導体ウェハ 6 を回転駆動し、また研磨パッド 1 1 を回転駆動する。さらに研磨パッド 1 1 を半導体ウェハ 6 に押圧して半導体ウェハ 6 を往復運動させ、所定量だけ半導体ウェハ 6 を研磨すると、研磨パッド 1 1 を退避させて半導体ウェハ 6 を排出する。

【0091】この研磨の際に、中央処理ユニット 8 2 は、アナログデジタル変換回路 (A/D) 8 9 及び 9 0 を介して、主軸スピンドル 4 0 の負荷変動、ロードセル 3 5 R、3 5 L による押圧力の検出結果 S 2 をモニタし、一定の条件により主軸スピンドル 4 0 等を駆動する。

【0092】図 3 4 は、X 軸テーブル 2 6 の送り速度制御を示す中央処理ユニット 8 2 の機能ブロック図である。中央処理ユニット 8 2 は、X 軸サーボモータ 6 5 の周辺構成より X 軸テーブル 2 6 の位置検出信号 S 3 を受け、この位置検出信号 S 3 を図示しないアナログデジタル変換回路により位置検出データに変換して入力する。中央処理ユニット 8 2 は、ウェハ位置換算部 8 2 A により、この位置検出データから研磨パッド 1 1 に対する半導体ウェハ 6 の位置を検出する。さらに X 軸速度指令設定部 8 2 B において、このウェハ位置換算部 8 2 A による位置検出結果より対応する速度制御データを生成し、この速度制御データによる制御信号を X 軸ドライバ 6 4 に出力する。なおこの速度制御データは、操作パネル 6 8 を介して事前に設定される。

【0093】これにより中央処理ユニット 8 2 は、図 2 9 について説明したように、X 軸テーブル 2 6 の移動速度を制御する。

【0094】図 3 5 は、研磨パッド 1 1 の押圧力 F の制御構成を示す中央処理ユニット 8 2 の機能ブロック図である。中央処理ユニット 8 2 は、オペレータの操作により、主軸ドライバ 6 1 (図 3 2) を介して得られる負荷検出信号 S 1 を基準にして、又はロードセル 3 5 R、3 5 L より得られる検出結果 S 2 を基準にしてこの一連の制御を実行する。

【0095】すなわち中央処理ユニット 8 2 は、押圧力算出部 8 2 C において負荷検出信号 S 1 又は検出結果 S 2 より研磨パッド 1 1 の押圧力 F を算出する。さらに中央処理ユニット 8 2 は、続く研磨圧力算出部 8 2 D において、押圧力算出部 8 2 C により算出された押圧力 F を研磨領域の面積で割り算し、これにより研磨パッド 1 1 の単位面積当たりの押圧力を計算する。

【0096】中央処理ユニット 8 2 は、事前に設定された押圧力を研磨圧力設定部 8 2 E より受け、続く減算部 8 2 F において、研磨圧力算出部 8 2 D で算出された押圧力との間の誤差値を検出する。移動量変換部 8 2 G は、この誤差値が値 0 に収束するように、制御データを出力して Z 軸サーボモータ 2 9 を駆動する。これにより

中央処理ユニット82は、単位面積当たりの押圧力が一定値になるように、研磨パッド11を押圧して半導体ウェハ6を研磨する。

【0097】(3)第1の実施の形態の動作

以上の構成において、研磨装置10では(図4)、未研磨の半導体ウェハ6がウェハカセット12に収納され、このウェハカセット12がロードバッファ14側に配置される。またアンロードバッファ15側に空のウェハカセット12が配置される。

【0098】この状態でオペレータが操作パネルを操作して研磨装置10の動作を開始すると、ウェハカセット12より半導体ウェハ6がロードバッファ14にセットされ、この半導体ウェハ6が搬送機構16により加工部13に搬送されてこの加工部13で研磨される。また半導体ウェハ6が加工部13に搬送されると、続く半導体ウェハ6がウェハカセット12よりロードバッファ14にセットされる。さらに研磨が完了すると、半導体ウェハ6が加工部13よりアンロードバッファ15に搬送されると共に、続く研磨対象が加工部13に搬送される。

【0099】このようにしてウェハカセット12に収納された半導体ウェハ6を順次加工部13において研磨する際に、研磨装置10では(図5)、開口13Aの下でX軸テーブル26が待機し、このX軸テーブル26に半導体ウェハ6が載置されると、X軸テーブル26が可動して半導体ウェハ6が研磨位置に移動される。さらにこのときX軸テーブル26が半導体ウェハ6の回転を開始し、研磨位置にて半導体ウェハ6を搭載して往復運動する。

【0100】研磨位置の上部では、研磨パッド11が待機し、半導体ウェハ6が研磨位置に移動すると、この研磨パッド11が回転を開始した後、Z軸サーボモータ29の駆動によりこの研磨パッド11が降下して半導体ウェハ6の表面を押圧する。これにより研磨装置10では、回転する研磨パッド11が半導体ウェハ6の表面に接触して研磨領域が形成され、研磨パッド11の回転により、この研磨領域において半導体ウェハ6上の微小な凸部が研磨される。

【0101】この研磨において、研磨装置10は、研磨パッド11及び半導体ウェハ6間の機械的伝達関数の基本共振周波数に対して(図1～図3)、半導体ウェハ6の凸部による周波数が高い周波数になるように、高速度($300[r/min]$)により回転駆動される。また研磨パッド11がリング状に形成されて、半導体ウェハ6の凸部による周波数との関係が研磨領域の全領域において維持される。これにより研磨パッド11は、この微小な凸部に対して、この凸部による押圧力に反して砥粒が変位するように凸部を押圧し、これによりこの凸部を積極的に研磨する。

【0102】また半導体ウェハ6の回転及び往復運動により、この研磨領域が徐々に半導体ウェハ6上で変位

し、これによりこの凸部の積極的な研磨が半導体ウェハ6の表面全体で実行される。このとき研磨パッド11の弾性(硬度)との関係で、半導体ウェハ6の回転速度においては、半導体ウェハ6のうねりによる周波数が研磨パッド11の機械的伝達関数の基本共振周波数より十分に低くなるように設定されていることにより、研磨パッド11においては、この半導体ウェハ6のうねりに対しては、このうねりに沿って弾性変形して半導体ウェハ6の表面を均一に研磨する。

【0103】これによりこの研磨装置10では、半導体ウェハ6の表面に形成された大きなうねりは維持したまま、微細な凹凸を平坦化する(図13)。

【0104】このとき研磨装置10では、研磨パッド11に含まれる固定砥粒に対して、粒径が $1/6 \sim 1/3$ の範囲に設定された遊離砥粒がスラリーにより供給され、これにより研磨領域が潤滑され、固定砥粒と遊離砥粒とにより半導体ウェハ6の表面を効率良く研磨する。

【0105】またこのとき脱落した固定砥粒、半導体ウェハ6の研磨かすが、研磨パッド11に形成された空孔に逃げるようにして半導体ウェハ6の表面が研磨され、また遊離砥粒によりこのような空孔の目詰まりが防止され、これにより数百枚半導体ウェハを連続して研磨する場合でも、当初の研磨能力によりこれら半導体ウェハ6が研磨される。

【0106】このようにして半導体ウェハ6を研磨するにつき、研磨装置10では、研磨パッド11を回転駆動する主軸スピンドル40の回転中心軸Oが、テーパリング50及び51の調整により微小角度傾けることができるように形成され、この回転中心軸Oが傾けられると、その分研磨パッド11も半導体ウェハ6に対して傾いて接触する。研磨装置10では、この回転中心軸Oの傾きに対応して、研磨パッド11がフェーシングされており、研磨パッド11が押圧されて半導体ウェハ6に接触してなる研磨領域の大きさがこの傾きに応じて変化することになる(図16～20)。

【0107】これにより研磨装置10では、この傾きを適切に選定して研磨領域の大きさについても種々に変更することができるようになされている。

【0108】また研磨装置10では、ロードセル35し、35Rにより、又は主軸スピンドル40の負荷変動により、半導体ウェハ6に対する押圧力がモニタされながら、Z軸サーボモータ29の制御により、単位面積当たりの押圧力が所定の設定値に維持されて、研磨パッド11が主軸スピンドル40により回転駆動される。このとき半導体ウェハ6は、所定の回転速度で回転駆動された状態で、X軸テーブル26により研磨パッド11の回転中心軸から手前側に偏って往復運動する。

【0109】この偏った往復運動に対応するように、研磨装置10では、主軸スピンドル40の手前側に、デッドウエイト54が配置されることにより、偏った往復運

動による押圧力の偏りが補正される(図21~図24)。

【0110】またこの往復運動におけるX軸テーブルの送り速度が、研磨領域の位置に応じて制御され、これにより半導体ウェハ6は、全体が一定の研磨量により平坦に研磨される。

【0111】(4)第1の実施の効果

以上の構成によれば、リング状の研磨パッド11を半導体ウェハに押圧して研磨領域を形成し、この研磨領域において、半導体ウェハの微細な凸部による周波数が研磨パッド11及び半導体ウェハ6間の機械的伝達関数の基本共振周波数以上になるように研磨パッドを回転させることにより、この微細な凸部による変位方向に対してこれとは逆方向に変位するように凸部を押圧して研磨することができ、これにより半導体ウェハ6の表面を平坦することができる。また半導体ウェハ6のうねりによる周波数が基本共振周波数より十分に低い周波数になるように、研磨領域を変位させることにより、半導体ウェハ6全体として、半導体ウェハ6のうねりに沿って研磨することができる。これらにより半導体ウェハの表面を高い精度により研磨することができる。

【0112】またこのとき研磨パッドの固定砥粒と、スラリーによる遊離砥粒により半導体ウェハを研磨することにより、さらにはこの遊離砥粒の粒径を固定砥粒の $1/6 \sim 1/3$ の範囲に選定したことにより、効率良く半導体ウェハを研磨することができる。

【0113】さらにこの研磨パッドに微細な空孔を形成することにより、脱落した固定砥粒等による研磨能力の低下を有効に回避することができる。

【0114】さらに単位面積当たりの押圧力を一定値に保持した状態で、研磨パッド11及び半導体ウェハ6を一定の速度により回転駆動すると共に、半導体ウェハ6を往復運動させ、この往復運動の送り速度を変化させて研磨領域の位置に応じて研磨領域の変位速度を変化させることにより、半導体ウェハ6の全面を均一に研磨することができる。

【0115】さらに研磨パッド11を傾けて押圧することにより、必要に応じて研磨領域の大きさを種々に選定して最適な条件により研磨することができる。

【0116】また研磨パッドに対して偏った半導体ウェハの往復運動に対応して、主軸スピンドル40の手前側に重りを配置することにより、偏った往復運動による押圧力の偏りを補正して均一に研磨することができる。

【0117】(5)他の実施の形態

なお上述の実施の形態においては、X軸テーブルの送り速度の制御により研磨領域の位置に応じて研磨領域の変位速度を可変する場合について述べたが、本発明はこれに限らず、半導体ウェハ6の回転速度の制御により研磨領域の位置に応じて研磨領域の変位速度を可変し、これにより半導体ウェハの各部における研磨量を均一化して

もよい。

【0118】また研磨領域の変位速度に代えて、研磨パッドの押圧力、研磨パッドの回転速度を可変して半導体ウェハの各部における研磨量を均一化してもよく、またこれらの制御を組み合わせることで実行して研磨量を均一化してもよい。

【0119】図36は、この半導体ウェハ6の回転速度を制御する場合の、中央処理ユニットの構成を示す機能ブロック図である。この図36に示す構成においては、研磨領域における半導体ウェハ6と研磨パッド11の相対速度を基準にして半導体ウェハ6の回転速度を制御する。

【0120】すなわち中央処理ユニット82は、X軸サーボモータ65の回転量より、相対速度算出部82Iにおいて、半導体ウェハ6及び研磨パッド11の各回転中心軸を基準にして、研磨領域の位置を検出する。

【0121】相対速度算出部82Iは、この計算した研磨領域の位置及びテーブル軸サーボモータ69の回転速度から、研磨領域における半導体ウェハ6の線速度を計算する。また同様にして相対速度算出部82Iは、この計算した研磨領域の位置及び主軸スピンドル40の回転速度より、研磨領域における研磨パッド11の線速度を計算する。さらにこの計算した2つの線速度を加算し、これにより相対速度を算出する。

【0122】中央処理ユニット82は、続く減算部82Kにおいて、相対速度設定部82Jに保持された相対速度との間で、計算した相対速度の誤差値を計算し、続く速度指令計算部82Lにおいて、この誤差値が0になるように制御データを生成する。このようにすれば、単に研磨量を均一化するだけでなく、半導体ウェハのダメージも低減することができる。

【0123】すなわちこのようにして計算される相対速度が大きい場合、相対速度が小さい場合に比して、微小な凸部が速やかに研磨される。また半導体ウェハの全体を見ても研磨速度が増大する。しかしながら半導体ウェハの研磨面に残る残留応力、内部歪みにおいては、相対速度に伴い増大する。従ってこのように相対速度を制御基準に設定して、半導体ウェハの回転速度を制御することにより、また併せて押圧力等の制御により研磨量を均一化して、ダメージの少ない研磨処理を実行することができる。

【0124】また上述の実施の形態においては、X軸テーブルの送り速度の制御により研磨領域の位置に応じて研磨速度を可変する場合について述べたが、本発明はこれに限らず、ロードセルの出力電圧により、又は主軸スピンドルの負荷電流により、研磨パッドの負荷を検出し、この負荷により研磨速度を可変することにより、半導体ウェハの各部における研磨量を均一化してもよい。

【0125】さらに上述の実施の形態においては、事前の設定に従って研磨速度を制御する場合について述べた

が、本発明はこれに限らず、例えば図 3 7 に示す研磨装置 1 1 0 のように、膜厚検出センサ 1 1 1 により膜厚を測定し、この測定結果よりリアルタイムで研磨目標を設定すると共に、この研磨目標に対応した研磨速度を設定するようにしてもよい。

【 0 1 2 6 】また上述の実施の形態においては、主軸スピンドル 4 0 の負荷により研磨速度を制御する場合について述べたが、本発明はこれに限らず、併せてこの負荷を監視することにより、研磨パッド 1 1 の目詰まり、スラリーの過不足、半導体ウェハ 6 の破損等を検知してもよい。

【 0 1 2 7 】また上述の実施の形態においては、研磨パッド 1 1 に対する押圧力を主軸スピンドル 4 0 の負荷又はロードセルにより検出する場合について述べたが、本発明はこれに限らず、例えばエアシリンダによって、研磨パッド 1 1 を半導体ウェハに押圧する研磨装置の場合には、シリンダ圧力から直接押圧力を検出してもよい。また Z 軸サーボモータの駆動トルクから押圧力を検出してもよい。

【 0 1 2 8 】さらに上述の実施の形態においては、研磨パッドに対して半導体ウェハを偏よらせて往復運動させる場合について述べたが、本発明はこれに限らず、例えば上述の実施の形態の 2 倍のストロークにより研磨パッドに対して対称に半導体ウェハを往復運動させてもよい。なおこのようにすれば、デッドウェイトの配置を省略することもできる。

【 0 1 2 9 】また上述の実施の形態においては、デッドウェイトを固定した 1 箇所に配置する場合について述べたが、本発明はこれに限らず、半導体ウェハの往復運動に伴ってデッドウェイトの位置を変位させて、単位面積当たりの押圧力が常に均一になるようにしてもよい。

【 0 1 3 0 】さらに上述の実施の形態においては、集積回路製造工程において半導体ウェハを研磨する場合について述べたが、本発明はこれに限らず、例えば光学部品の製造工程においてレンズ等を研磨する場合等にも広く適用することができる。

【 0 1 3 1 】

【発明の効果】上述のように本発明によれば、研磨領域を加工面上で順次変位させて加工面を研磨する際に、研磨領域においては、研磨面の各部を加工面に対して所定の基準速度以上で変位させ、また加工面に対しては研磨領域を基準速度以下で変位させることにより、配線パターン等による加工面の微小な凹凸を、従来に比して格段的に低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の形態に係る研磨装置の研磨原理の説明に供する断面図である。

【図 2】図 1 の説明に供する研磨装置の基本構成を示す斜視図である。

【図 3】機械的伝達関数を示す特性曲線図である。

【図 4】研磨装置の全体構成を示す斜視図である。

【図 5】図 4 の研磨装置の加工部を示す平面図及び側面図である。

【図 6】図 5 の正面図である。

【図 7】研磨パッドの取付けを示す断面図である。

【図 8】図 7 の底面図である。

【図 9】研磨パッドによる研磨の説明に供する断面図である。

【図 1 0】図 4 の研磨装置による研磨速度を示す特性曲線図である。

【図 1 1】研磨枚数と研磨速度との関係を示す特性曲線図である。

【図 1 2】研磨のテストに使用した半導体ウェハを示す断面図である。

【図 1 3】凸部の研磨能力の説明に供する特性曲線図である。

【図 1 4】半導体ウェハと研磨パッドとの関係を示す断面図である。

【図 1 5】半導体ウェハにおける研磨領域の変位を示す略線図である。

【図 1 6】主軸の傾き調整機構を示す側面図である。

【図 1 7】傾き調整機構の動作の説明に供する略線図である。

【図 1 8】傾き調整機構による研磨パッドの傾きを示す略線図である。

【図 1 9】図 1 8 の断面図である。

【図 2 0】研磨パッドの傾きと研磨領域との関係を示す略線図である。

【図 2 1】研磨パッド及び半導体ウェハが重なり合った場合における押圧力の分布の説明に供する略線図である。

【図 2 2】図 2 1 に対して半導体ウェハが変位した場合における押圧力の分布の説明に供する略線図である。

【図 2 3】図 2 2 に対して半導体ウェハがさらに変位した場合における押圧力の分布の説明に供する略線図である。

【図 2 4】デッドウェイトの説明に供する略線図である。

【図 2 5】研磨パッドに対する研磨速度の分布を示す特性曲線図である。

【図 2 6】研磨パッドの回転速度と半導体ウェハの回転速度との関係を示す略線図である。

【図 2 7】半導体ウェハの往復運動と研磨量との関係を示す特性曲線図である。

【図 2 8】半導体ウェハの送り速度の補正結果を示す特性曲線図である。

【図 2 9】実際の実施の形態に係る半導体ウェハの送り速度の補正の説明に供する特性曲線図である。

【図 3 0】1 枚の半導体ウェハ中における研磨量の測定結果を示す特性曲線図である。

【図31】連続して半導体ウェハを研磨した場合における平坦度の変化を示す特性曲線図である。

【図32】図4の研磨装置の制御系を示すブロック図である。

【図33】図32の主制御装置を周辺構成と共に示すブロック図である。

【図34】半導体ウェハの送り制御について、図34の中央処理ユニットを周辺構成と共に示す機能ブロック図である。

【図35】押圧力の制御について、図34の中央処理ユニットを周辺構成と共に示す機能ブロック図である。

【図36】他の実施の形態に係る研磨装置の中央処理ユニットについて、他の周辺構成と共に半導体ウェハの回転速度の制御系を示す機能ブロック図である。

【図37】他の実施の形態に係る研磨装置の基本構成を示す斜視図である。

【図38】半導体ウェハの断面図である。

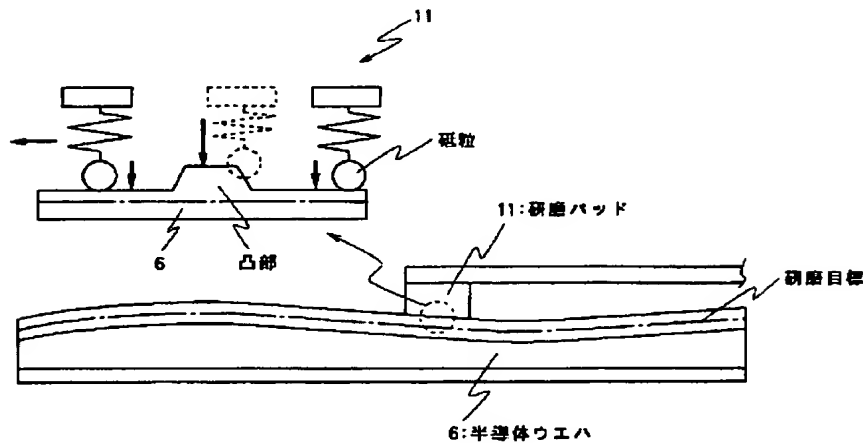
【図39】従来の研磨装置の基本構成を示す斜視図である。

【図40】図39の研磨装置による研磨原理の説明に供する断面図である。

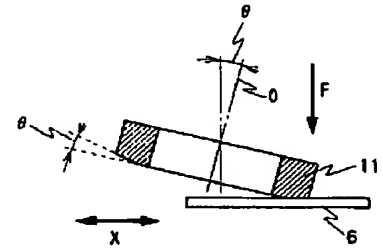
【符号の説明】

5、10、110……研磨装置、6、W……半導体ウェハ、11、P……研磨パッド、13……加工部、16……ウェハ搬送機構、24……Z軸スライダ、26……X軸テーブル、29……Z軸サーボモータ、35L、35R……ロードセル、40……主軸スピンドル、42……主軸、60……主制御装置

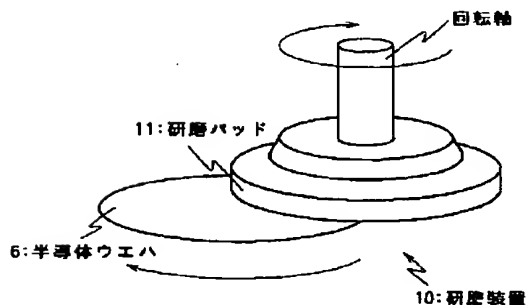
【図1】



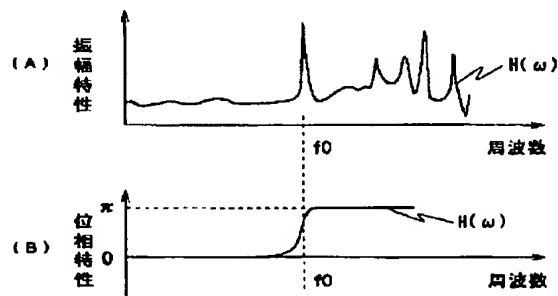
【図19】



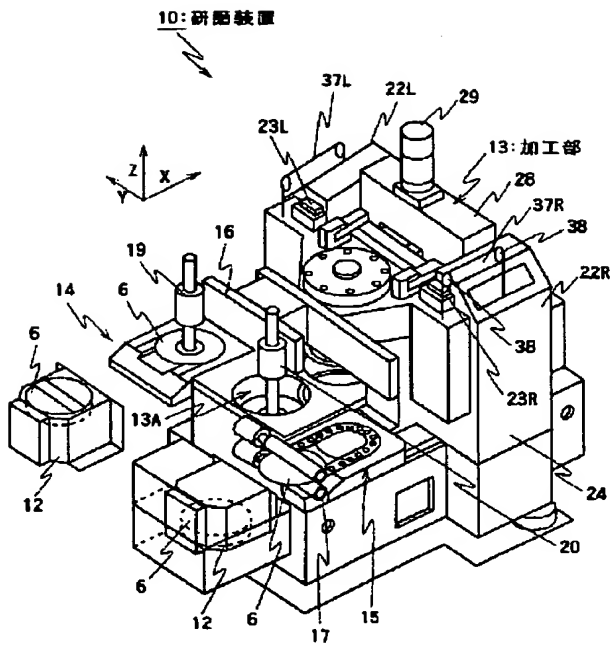
【図2】



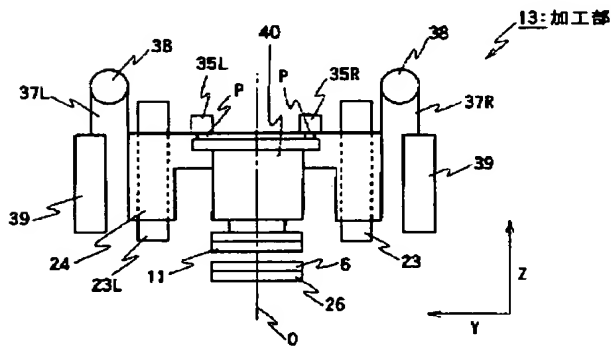
【図3】



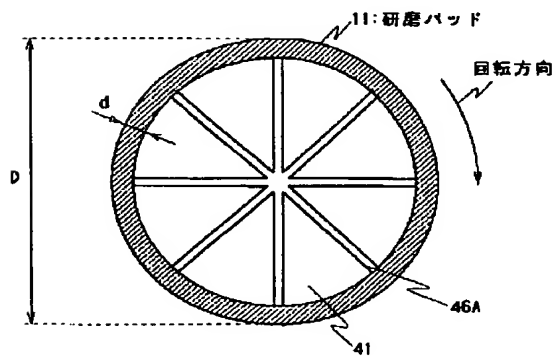
【図4】



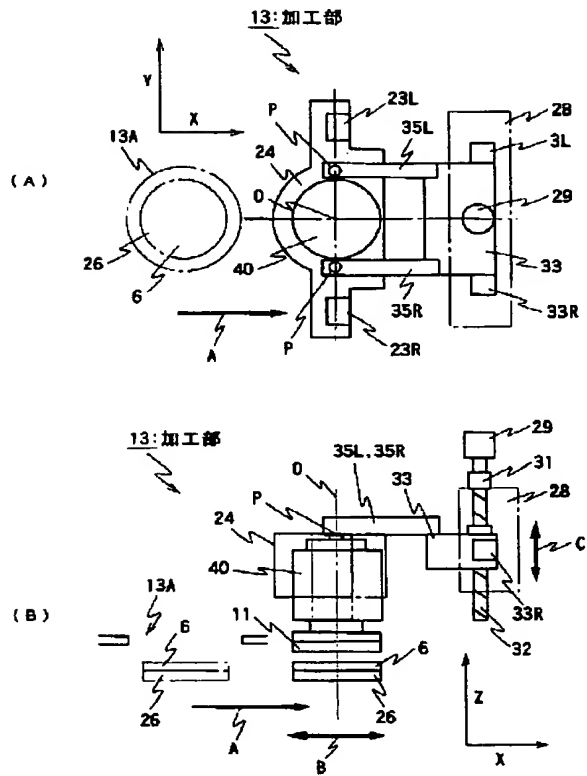
【図6】



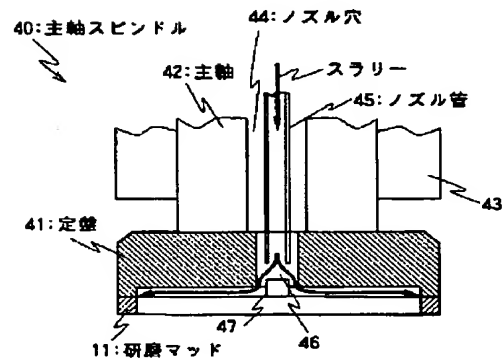
【図8】



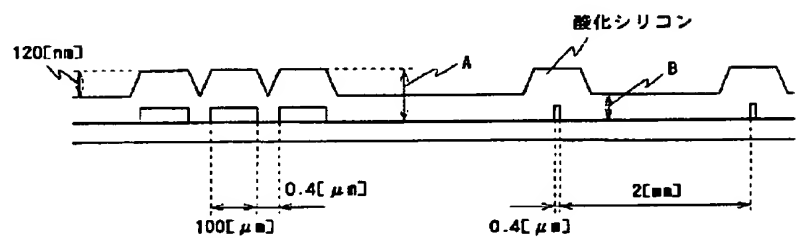
【図5】



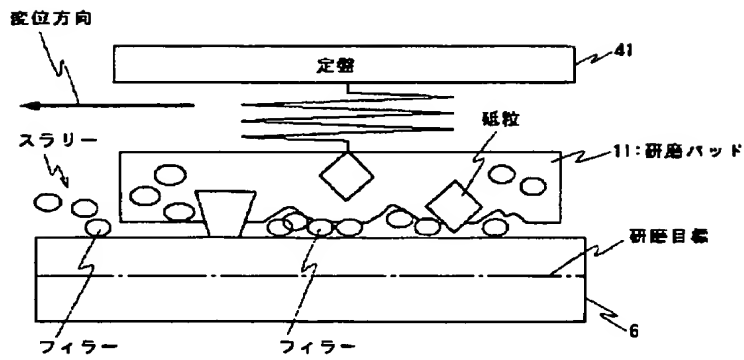
【図7】



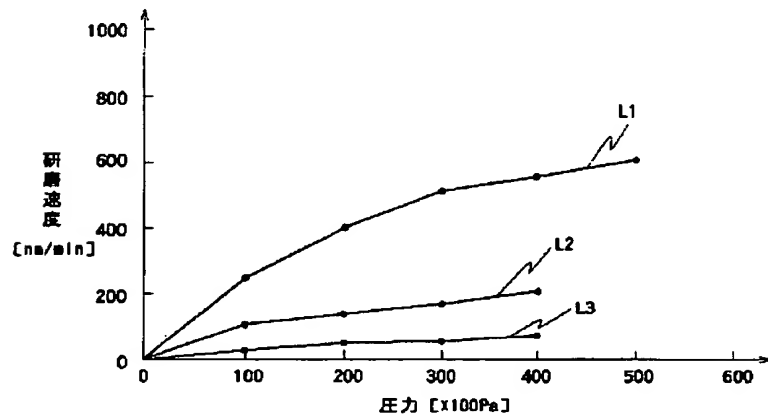
【図12】



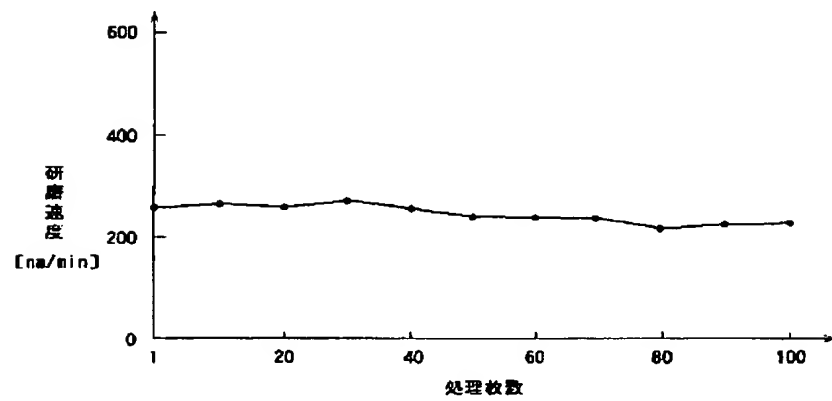
【図9】



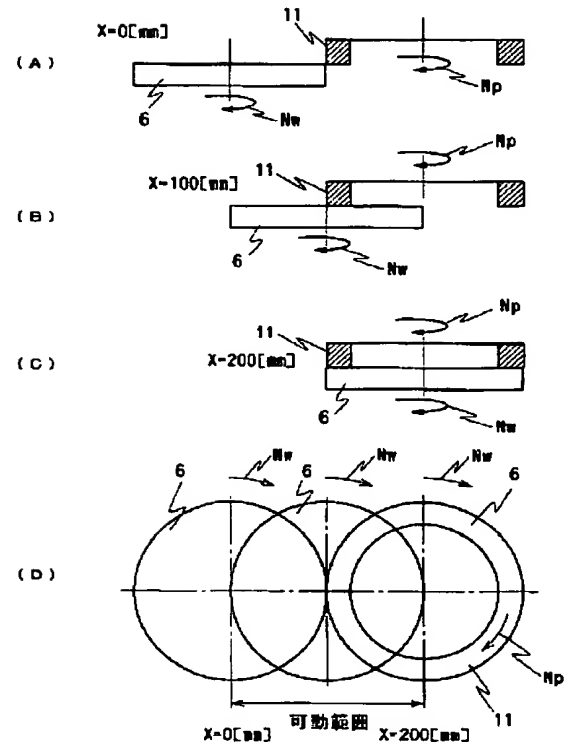
【図10】



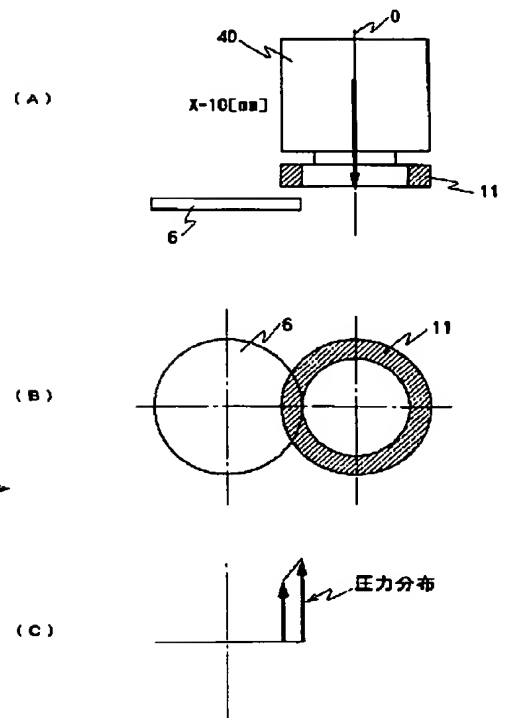
【図11】



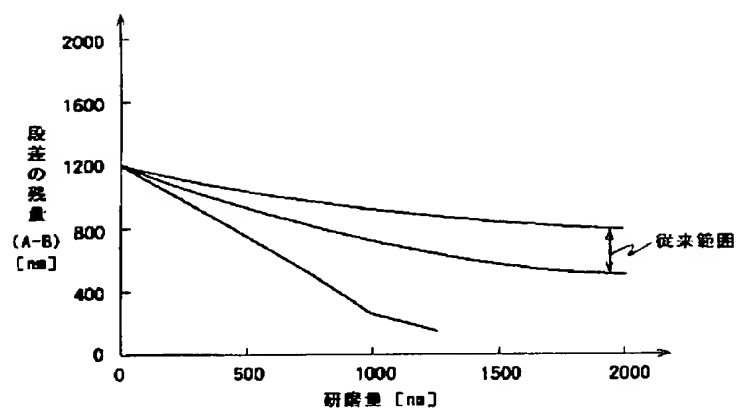
【図15】



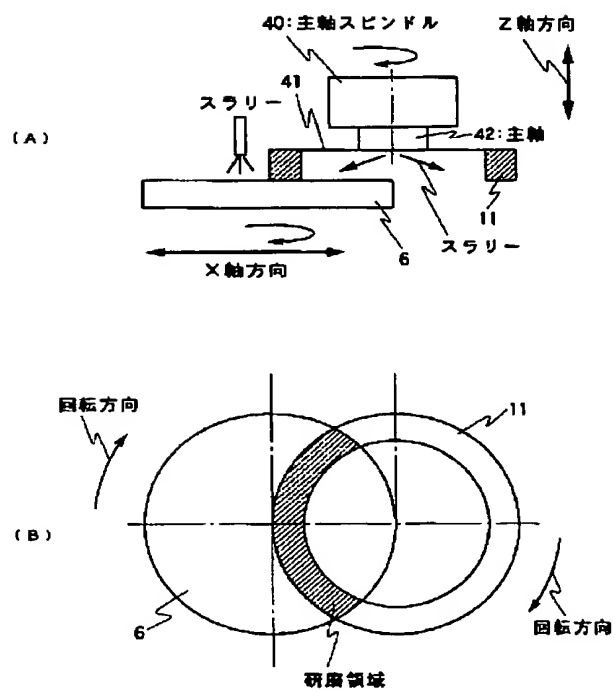
【図23】



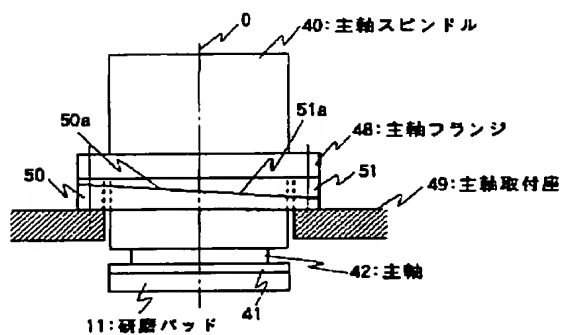
【図13】



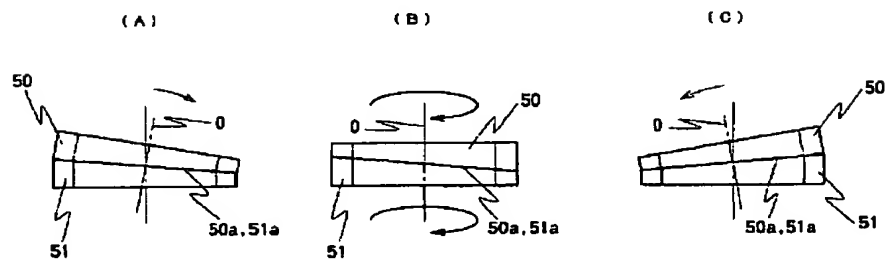
【図14】



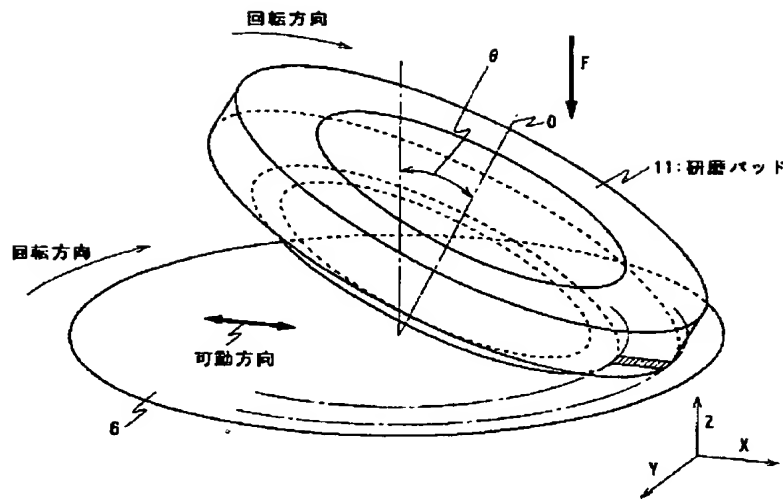
【図16】



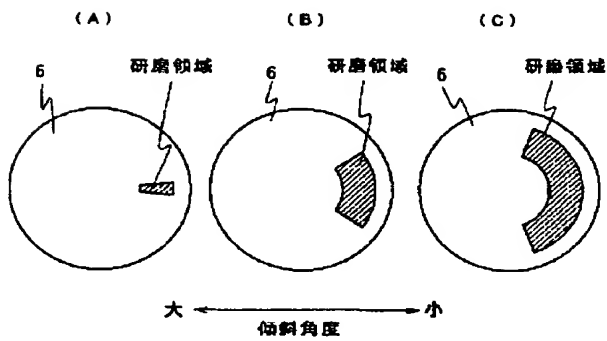
【図17】



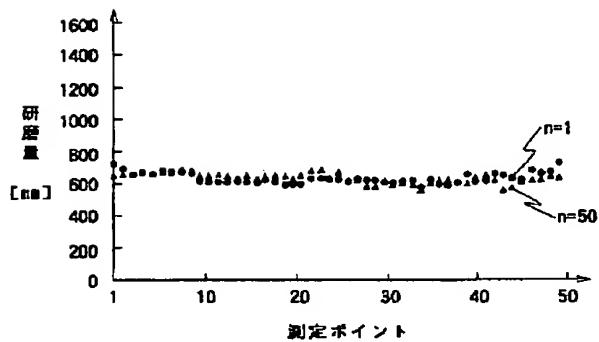
【図18】



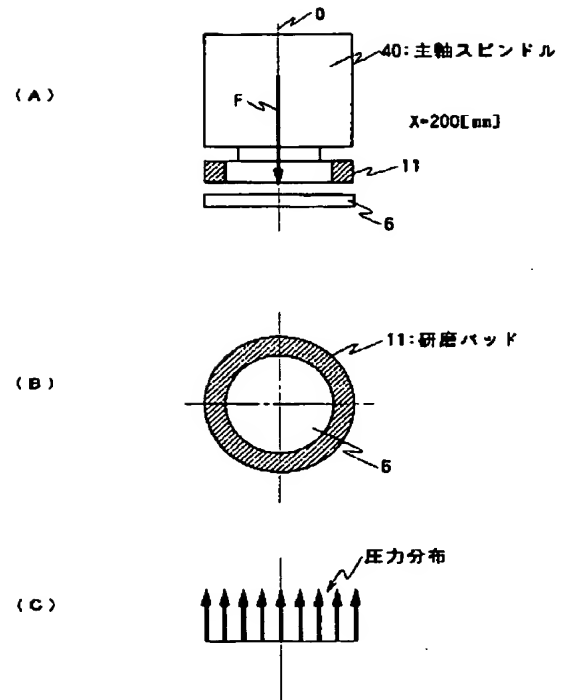
【図20】



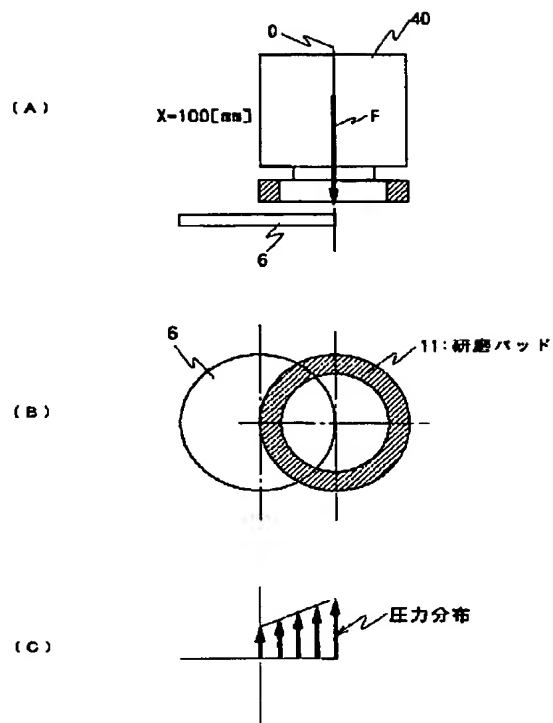
【図30】



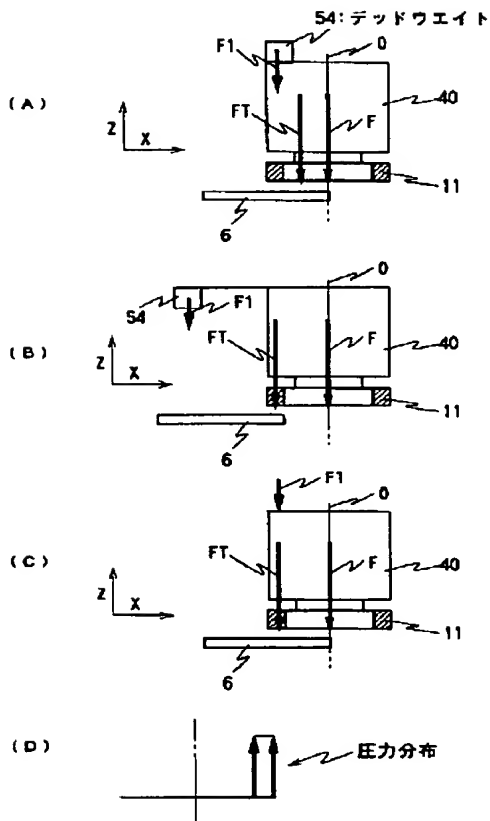
【図21】



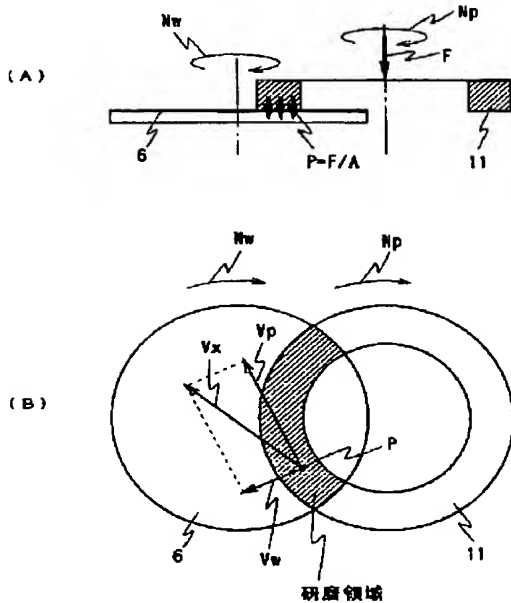
【図22】



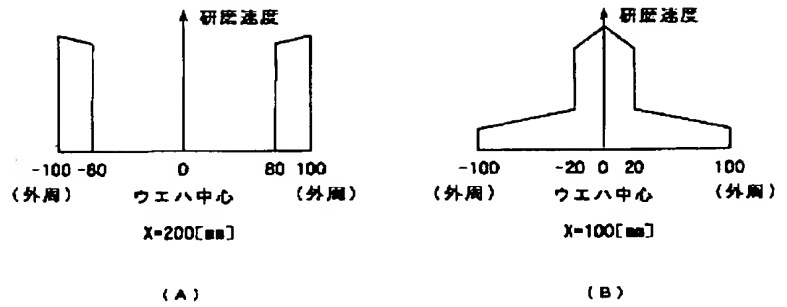
【図24】



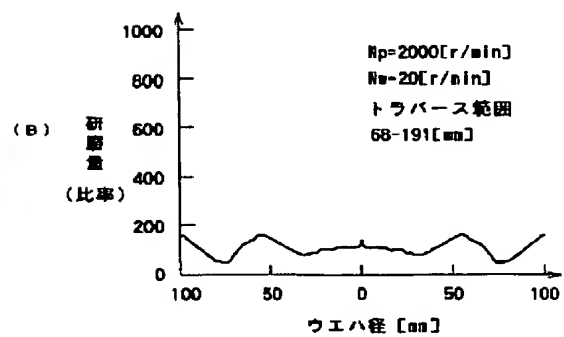
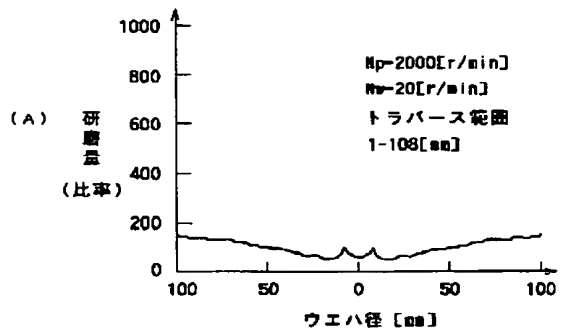
【図26】



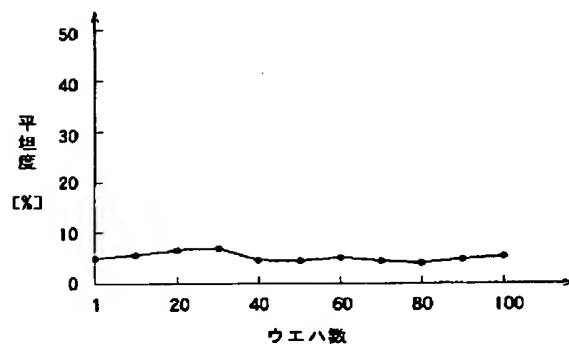
【図25】



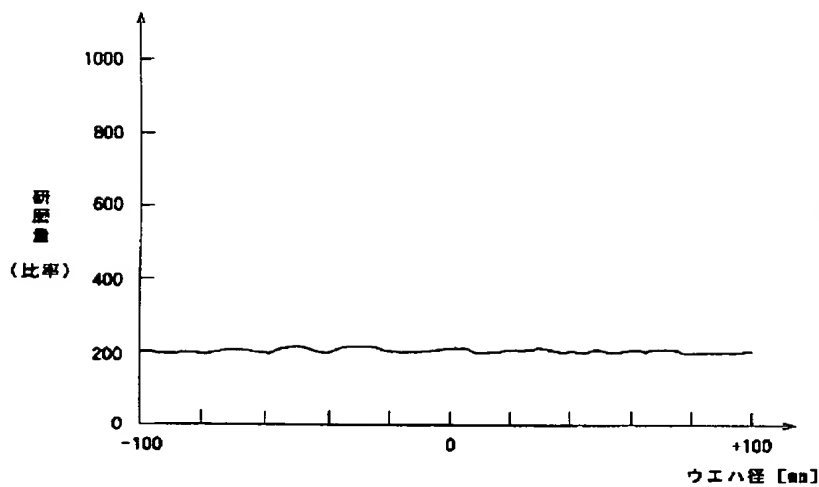
【図27】



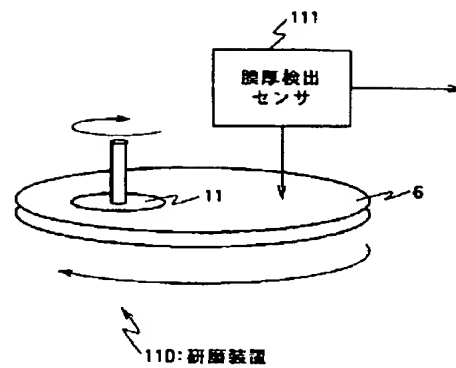
【図31】



【図28】

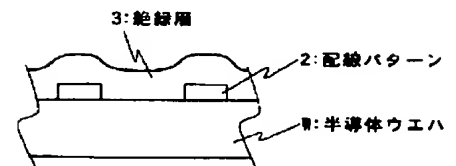
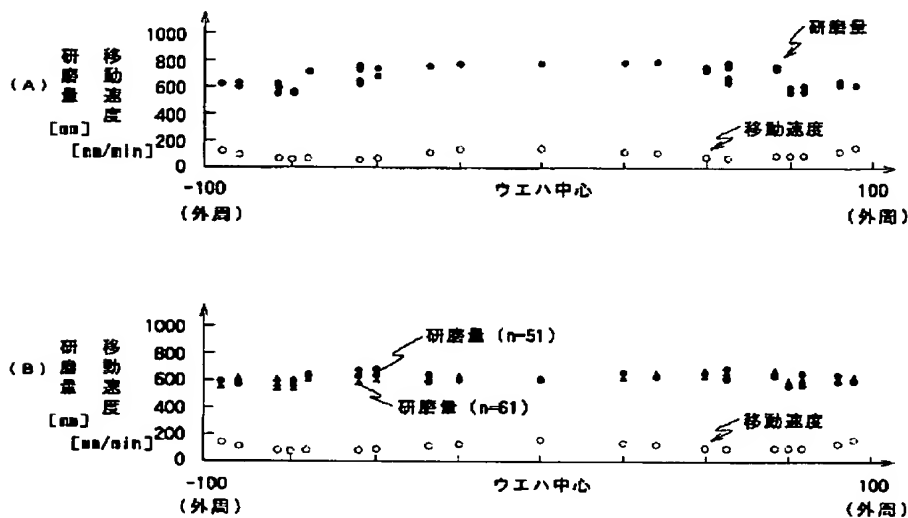


【図37】

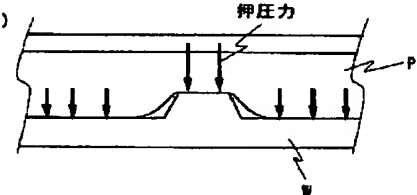


【図38】

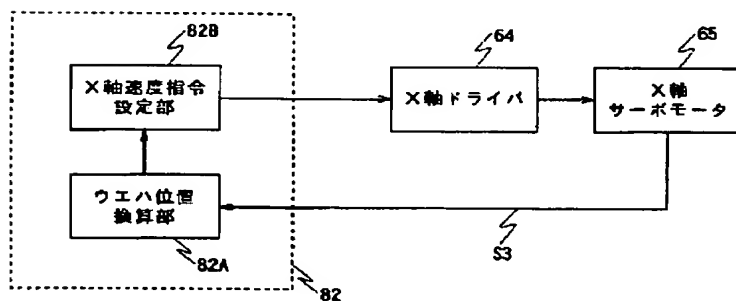
【図29】



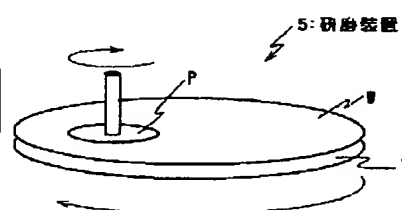
【図40】



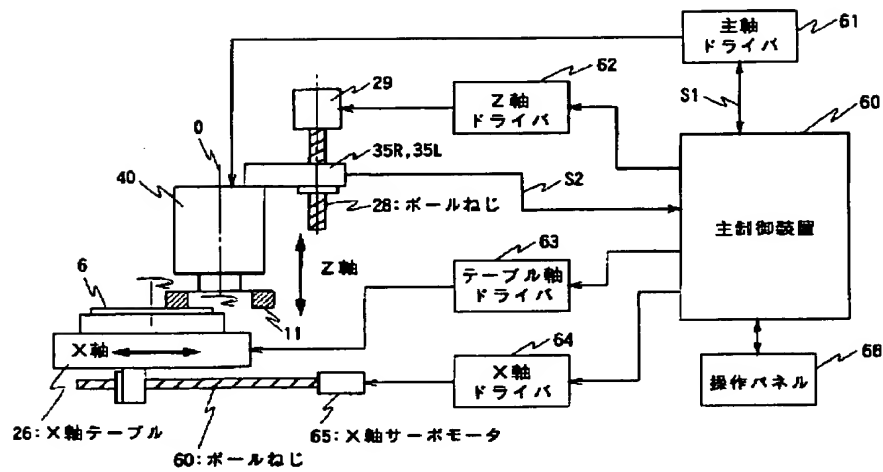
【図34】



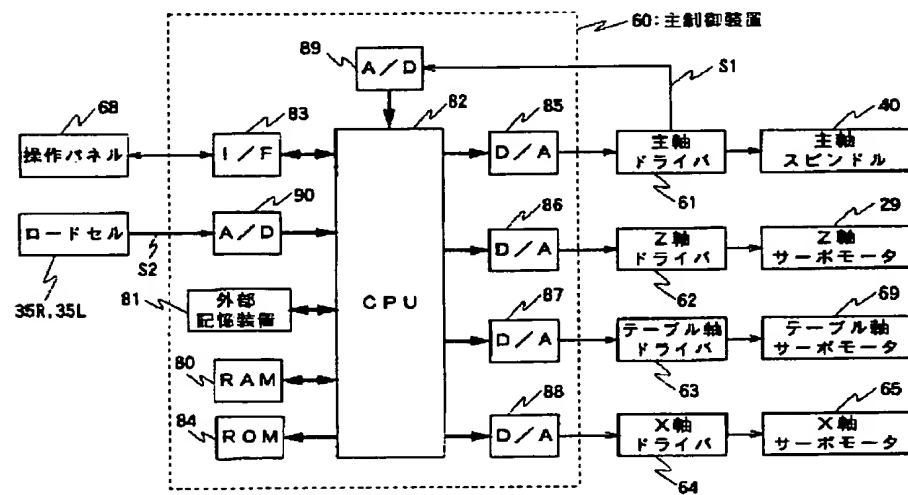
【図39】



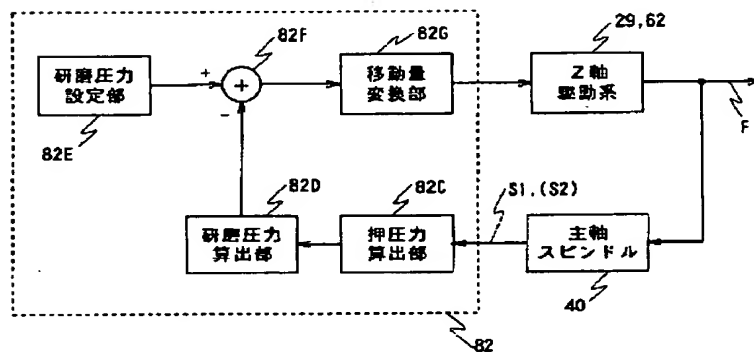
【図32】



【図33】



【図35】



【図36】

